



La nature du temps cosmologique selon Jacques Merleau-Ponty

Michel Paty

► To cite this version:

Michel Paty. La nature du temps cosmologique selon Jacques Merleau-Ponty. La nature du temps cosmologique selon Jacques Merleau-Ponty, 2004, Tunis, Tunisie. p. 45-46. halshs-00170848

HAL Id: halshs-00170848

<https://shs.hal.science/halshs-00170848>

Submitted on 10 Sep 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La nature du temps cosmologique selon Jacques Merleau-Ponty

Michel PATY[§]

Conférence au *Colloque Jacques Merleau-Ponty : l'homme et le philosophe*,
Faculté des Sciences Humaines, Université de Tunis, Tunisie, 7,8,9 octobre 2004,
publiée dans les Actes du Colloque, Tunis, 2006.

RESUME.- On évoque les travaux de Jacques Merleau-Ponty, philosophe préoccupé de la pensée de la physique contemporaine, et notamment de la cosmologie. Dans sa *Cosmologie du XX^e siècle* et dans ses écrits ultérieurs, Jacques Merleau-Ponty s'est penché en particulier sur la question du temps cosmologique qui suscite des problèmes délicats d'interprétation. On reprend à sa suite l'examen du modèle géométrique d'Univers proposé par Kurt Gödel, qui conduit à un paradoxe sur le temps, en l'analysant à la lumière des enseignements des diverses théories de la physique et de la cosmologie sur ce concept.

ABSTRACT.- *The nature of the cosmological time according to Jacques Merleau-Ponty.* - We evoke the work of Jacques Merleau-Ponty, a philosopher who dealt with contemporary physical thinking, and particularly with cosmology. In his *Cosmologie du XX^e siècle* and in his further writings, Jacques Merleau-Ponty has studied the question of cosmological time which has been raising delicate interpretation problems. We consider and examine, inspired by his contributions on the subject, the world geometrical model proposed by Kurt Gödel, which leads to a paradox about time, analysing it in the light of the lessons taught about this concept by the various physical theories and by cosmology.

MOTS-CLES : Causalité, Cosmologie, Einstein, Epistémologie, Gödel, Philosophie, Temps.

KEY-WORDS : Causality, Cosmology, Einstein, Epistemology, Gödel, Philosophy, Time.

[§] Directeur de recherche émérite au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) (EQUIPE REHSEIS, UMR 7596, et Université Paris 7-Denis Diderot), Paris, France ; et Professor Visitante, Departamento de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo (SP), Brasil.

1. INTRODUCTION. LE PHILOSOPHE ET LA PHYSIQUE.

Je voudrais commencer cet exposé, qui porte sur « La nature du temps cosmologique selon Jacques Merleau-Ponty », en évoquant en quelques mots la figure et le profil intellectuel de celui autour de qui nous sommes réunis ces jours-ci, pour étudier son œuvre et honorer sa mémoire. Jacques Merleau-Ponty était avant tout un philosophe, dans le sens plein du terme, nourri de toute la culture philosophique classique, attentif aux apports du siècle, et en même temps très tôt concerné de la façon la plus vive par la physique contemporaine, au point de se vouer à l'étude la plus précise et exigeante des rapports entre la physique et la philosophie.

La physique qu'il étudia allait de la physique classique à la physique contemporaine, qui comprend la théorie de la relativité restreinte et générale et, dans le sillage de la seconde, la cosmologie. C'est de celles-ci que je parlerai dans la suite, en me concentrant sur un aspect bien précis mais de grande portée, le temps. Quant à la physique quantique, bien qu'il n'ait pratiquement pas produit d'étude épistémologique sur elle¹, Jacques Merleau-Ponty manifestait à son égard aussi un intérêt aigu et curieux. Je me souviens de sa participation, en 1980, à une journée de débats entre physiciens et philosophes organisée au Collège de France, où j'avais eu l'honneur d'être invité (encore en chemin entre les deux)². Il y avait notamment, parmi les premiers, John Bell, qui exposa son théorème sur l'incompatibilité du principe de séparabilité locale avec la mécanique quantique, et sur la possibilité d'en décider par l'expérience, et Alain Aspect, qui venait tout juste de terminer ses premières expériences sur les corrélations quantiques à distance avec des faisceaux laser de photons de haute résolution, concluant en faveur de la mécanique quantique et de l'*inséparabilité*, ou *intrication* (« *entanglement* »), comme l'on préfère dire aujourd'hui, en reprenant un mot forgé par Schrödinger. Jacques Merleau-Ponty, qui était présent avec d'autres philosophes, notamment Jules Vuillemin et Jean-Toussaint Desanti, écouta avec beaucoup d'intérêt les conférences et participa activement aux débats. D'ailleurs il encouragea et orienta certains de ses étudiants de thèses vers ce domaine³. Et j'ai en mémoire nos nombreuses discussions sur cette matière (après nous être rencontrés initialement sur la pensée de d'Alembert, sujet de ma thèse de philosophie, au jury de laquelle Georges Gusdorf l'avait invité quelques années

¹ Il faut toutefois mentionner une contribution de sa part, suscitée par un article de B. d'Espagnat, auquel il donna la réplique, dans la revue *Fundamenta Scientiae*, que je co-dirigeais alors : « Sur la distinction de M. B. D'Espagnat entre "objectivité forte" et "objectivité faible" », *Fundamenta Scientiae* (Strasbourg, São Paulo), 8, n°3-4, 1987, 323-330.

² *Implications conceptuelles de la physique quantique, Colloque de la Fondation Hugot du Collège de France, juin 1980, Journal de Physique, Supplément, fasc. 3, Colloque n° 2, 1981.*

³ Notamment Catherine Chevalley, qui prépara sous sa direction une thèse monumentale sur les interprétations philosophiques de la mécanique quantique, et auteure par ailleurs d'une importante présentation du livre de Niels Bohr, *Physique atomique et connaissance humaine*, Gallimard, Paris, 1991.

avant)⁴. Pour continuer dans les souvenirs, j'évoquerai aussi cette séance de la Société française de philosophie, dont il était alors le président, à laquelle il m'avait invité à débattre avec Bernard d'Espagnat, sur « La physique et le réel », et c'était bien entendu de la physique quantique qu'il s'agissait⁵.

Ainsi s'intéressait-il de très près à la physique contemporaine dans son ensemble, dans la mesure où elle se révélait un riche terrain d'interrogations et de méditations philosophiques. Quant à la philosophie telle qu'il la concevait, elle allait de l'épistémologie à la métaphysique, et c'est toute la diversité et la finesse de cette palette qu'il mettait en mouvement dans ses approches de la science.

Ceci concerne le penseur. Quant à l'homme, il nous a été rendu présent par le portrait très vrai et très beau de Jacques Merleau-Ponty en père, fait par son fils Jules avec l'aval de ses frère et sœur. Ce portrait sonnait très juste pour ceux qui furent ses élèves directs ou indirects. Dans mon cas, sans avoir été son élève au sens strict du terme, j'ai du moins entretenu avec lui une relation de proximité intellectuelle qui a duré de 1977 à sa mort en 2002, soit vingt cinq années. Il était pour moi une sorte de maître que je m'étais choisi, mais qu'il reçut immédiatement sur un pied d'égalité, avec la plus grande bienveillance pour mon profil (ou ma vocation) double, scientifique et philosophique, qu'il encouragea dès le début, et qu'il était particulièrement bien placé pour reconnaître, puisqu'il avait lui-même suivi un double appel semblable, symétrique du mien. Il poursuivait régulièrement avec moi un dialogue amical et exigeant sur nos sujets communs d'intérêt, où se manifestait l'acuité vigilante de son esprit critique et sa grande culture philosophique. Ses remarques, dans nos dernières conversations, partagées avec Jean-Jacques Szczeciniarz, portaient sur la question de l'intersubjectivité, dont, en relisant plus tard ses textes, je réalisais qu'elle chemine en filigrane déjà dans ses toutes premières recherches.

2. JACQUES MERLEAU-PONTY ET L'EPISTEMOLOGIE DE LA COSMOLOGIE : DE L'IDEE COSMOLOGIQUE A LA SCIENCE DE L'UNIVERS.

Pionnier de l'étude épistémologique et philosophique de la cosmologie, science nouvelle apparue au XX^e siècle, Jacques Merleau-Ponty s'attacha notamment à élucider les conditions de possibilité d'une telle science, ayant pour objet l'Univers entier, qui échappait aux canons scientifiques des époques précédentes depuis la fondation de la science moderne, post-copernicienne, qui commence en fait avec Galilée. Il éclaire, dans différents textes (dont certains ont été repris dans son livre posthume *Sur la science cosmologique*⁶) comment la science moderne, en opposant ses conceptions aux

⁴ Michel Paty, *Théorie et pratique de la connaissance chez Jean d'Alembert*, Thèse de doctorat de philosophie, Université de Strasbourg-2, 1977.

⁵ Bernard D'Espagnat et Michel Paty, *La Physique et le réel*, exposés et débat, *Bulletin de la Société Française de Philosophie*, 74^e année, n° 1, janv. mars 1980, 1-42.

⁶ Jacques Merleau-Ponty, *Sur la science cosmologique. Conditions de possibilité et problèmes philosophiques*, édité par M. Paty et J.J. Szczeciniarz, Collection « Penser avec les sciences », EDP-Sciences, Paris-Les Ulis, 2003.

idées de la science ancienne et médiévale, c'est-à-dire à une physique, une astronomie et cosmologie géocentriques aristotélo-ptoléméennes dont les éléments reçoivent leur signification de la totalité dont ils participent, comment la science moderne, donc, ne pouvait que rejeter l'idée même d'une cosmologie comme science. La science moderne, nommément la physique et l'astronomie dites classiques, se proposait comme une connaissance des objets et des phénomènes locaux (la mécanique de Galilée est, et se présente explicitement comme, une science du « mouvement local »), et même, bientôt, « infinitésimaux » ou différentiels par l'utilisation systématique de l'analyse dans l'élaboration des concepts physiques ; des totalités partielles pouvaient être reconstituées par intégration des parties.

Cependant, une idée de totalité ou, pour mieux dire, d'universalité, présidait en même temps à l'établissement de la science classique : la connaissance locale n'avait de sens que conçue comme étant de portée générale, valable en tous lieux (et aussi en tous temps). L'Univers post-copernicien était infini et homogène, ne comportant qu'une seule et unique matière comme substance du monde, mais il perdait en même temps toute possibilité d'être appréhendé par la science dans sa totalité. Le mot « cosmologie » changeait dès lors de sens (mais il est significatif qu'il ne fût pas supprimé) : d'Alembert la définit dans l'*Encyclopédie* comme les propriétés générales et universelles de la matière dans l'espace (dans tous les lieux de l'Univers) et dans le temps, en raison de son unité. A quelques exceptions près (dont la plus notable fut William Herchel), la cosmologie comme science disparut de l'horizon de la science au XVIII^e siècle, et surtout au XIX^e, dominé par une valorisation extrême de la mesure et de la précision numérique, et où l'impossibilité de fait d'une pensée cosmologique se vit érigée en interdit par les idées positivistes alors dominantes.

Jacques Merleau-Ponty a consacré à cette période son ouvrage *La science de l'Univers à l'âge du positivisme*⁷, paru en 1983. Il y montre comment les savants se replièrent sur une « docte ignorance », avec pour certains, tels Alexandre von Humboldt et John Herschel, une nostalgie de l'idéal perdu. Mais il montre aussi (et le sous-titre du livre, *Etude sur les origines de la cosmologie contemporaine*, l'indique d'entrée) comment cependant, tout au long de cette période, la permanence d'une idée cosmologique (une « cosmologie sans le cosmos ») peut être décelée, accompagnant la constitution de la physique et de l'astronomie désormais classiques, portant ses effets sur divers domaines de ces sciences, et notamment des nouvelles disciplines comme la thermodynamique. Il analyse ainsi les œuvres de différents auteurs, physiciens et astronomes (et mathématiciens), de Jean Henri Lambert à Pierre Simon Laplace, John Herschel, Friedrich Wilhelm Bessel, André Marie Ampère, James Prescott Joule, ... ; et philosophes, d'Emmanuel Kant à Auguste Comte, William Whevell et Augustin Cournot, qui illustrent diversement « la cosmologie des philosophes entre l'Epistémologie, l'Ethique et la Théologie ».

On ajoutera à cet appel Ernst Mach et Henri Poincaré, qui préparèrent directement la pensée des concepts qui devaient servir à forger les premiers éléments de la science cosmologique, par la critique de leur acception classique et

⁷ Jacques Merleau-Ponty, *La science de l'Univers à l'âge du positivisme. Etude sur les origines de la cosmologie contemporaine*, Vrin, Paris, 1983,

la mise en évidence de leur dimension cosmologique implicite (l'inertie et la masse inertielle par Mach, la relativité de l'espace par Poincaré)⁸.

La possibilité théorique de faire de l'Univers dans sa totalité un objet de science, dans le sens précis que la physique donne à ce terme, en donnant à ses concepts la forme des grandeurs et des relations de l'analyse différentielle, fut acquise à partir de la théorie de la relativité générale, par les travaux d'Albert Einstein, Wilhem de Sitter, Alexander Friedmann et d'autres, puis de l'heureuse conjonction de cette cosmologie théorique, relativiste, avec l'établissement d'une cosmologie observationnelle basée d'abord sur les travaux de Edmund Hubble, interprétés par Georges Lemaître en termes de récession des galaxies.

On doit à Jacques Merleau-Ponty, et à son grand ouvrage *Cosmologie du XX^e siècle*, sa thèse de doctorat parue en 1965, l'une des toutes premières études épistémologiques et philosophiques de fond sur la nature, les contenus, la signification, et les problèmes restés pendants, de cette science nouvelle, que très peu de scientifiques maîtrisaient encore, et avant qu'une multitude d'observations ne l'imposent dans toute sa puissance comme l'un des domaines de la pensée scientifique les plus assurés et les plus fascinants. Cette œuvre pionnière reste unique et inégalée et n'a rien perdu aujourd'hui de son intérêt et de sa force. Dans son approche très informée des problèmes qui se trouvaient posés à l'époque, Jacques Merleau-Ponty était guidé par une conception rare et exigeante de la dynamique d'un authentique dialogue entre la philosophie et les sciences considérées telles qu'elles sont. Je ne saurais, bien entendu, évoquer ici l'ensemble des questions qui y sont traitées, complétées ultérieurement par des analyses sur les développements plus récents de la cosmologie⁹.

Aussi bien n'est-ce pas ici mon propos. Je voudrais plutôt examiner un problème particulier de la cosmologie, toujours actuel malgré les développements considérables que cette science a connus depuis lors, celui du temps, du *temps cosmologique*, c'est-à-dire tel que la cosmologie nous le propose, pris entre une forme mathématique (celle de l'espace-temps de la théorie de la relativité générale) et une effectivité physique, qui suscitent toujours une diversité d'interprétations.

Dans sa *Cosmologie du XX^e siècle* et dans ses écrits ultérieurs, Jacques Merleau-Ponty s'est penché sur cette question, avec le souci de confronter au concept de temps selon la cosmologie, le concept de temps selon la physique en général, et plus spécialement selon la thermodynamique, avec le temps de l'« irréversibilité ». En particulier, son analyse du modèle géométrique d'Univers proposé par le logicien Kurt Gödel, qui conduit à un paradoxe sur le temps (avec la perte dans certains cas de la direction temporelle), n'a rien perdu aujourd'hui de sa force et de sa justesse, parce qu'elle est guidée par le souci de tenir ensemble ces différents aspects du concept de temps. Il se prononçait, en définitive, quant à lui, pour un temps cosmologique *physique*, distinct de l'espace et directionnel, contre les conceptions qui y voyaient une simple dimension spatiale comme les autres, et dont toute directionnalité serait illusoire et subjective. Cette position s'appuie sur des analyses de la signification physique du temps en physique et en

⁸ Michel Paty, « Le Cosmos avant Einstein. L'idée cosmologique avant la science cosmologique », *Ciel et Espace. Hors-Série*, septembre 2004, 29-35.

⁹ Jacques Merleau-Ponty, *Sur la science cosmologique*, op. cit. .

cosmologie, notamment sur le sens du temps, sur la question de l'asymétrie temporelle du temps comme quatrième dimension de l'espace-temps (à travers une critique pertinente du « réalisme de l'espace-temps » de Minkowski à Milne), sur le temps de l'irréversibilité.

Je me propose dans ce qui suit de reprendre la discussion du paradoxe de Gödel sur le temps à propos de la cosmologie, en m'éclairant de ce que la physique et la cosmologie nous disent par ailleurs de la matérialité du temps. Je commencerai donc par un essai de mise en perspective du concept de *temps physique*, puisque c'est lui qui est fondamentalement en jeu dans cette discussion sur le temps cosmologique. Je présenterai ensuite le problème de la réalité du temps cosmologique tel qu'il a été proposé par Gödel, en faisant état des réflexions proposées sur ce sujet, de manière convergente, par Einstein d'une part, par Jacques Merleau-Ponty d'autre part, et j'y ajouterai des remarques personnelles étayées sur l'analyse du concept de temps par laquelle j'aurai commencé ces évocations.

3. TEMPS COSMOLOGIQUE ET TEMPS PHYSIQUE (SUR LA DESCRIPTION PHYSIQUE DU TEMPS)

Il est admis généralement que le concept de temps tel que la physique l'utilise correspond à une grandeur qui va dans une seule direction, du passé vers le futur. Un rapide rappel historico-épistémologique nous indiquera comment cette contrainte, qui était initialement simplement de définition, s'est imposée à la faveur de l'acquisition par la notion de temps du caractère de grandeur pleinement physique au sens usuel (du temps absolu newtonien à celui de la relativité, restreinte et générale, sans omettre les leçons de la thermodynamique).

Résumons quelques aspects de l'élaboration du concept *de temps* en physique, tel que nous pouvons le saisir à partir des recherches d'épistémologie historique, et qui nous aident à comprendre le sens que la science physique attache au temps¹⁰. En premier lieu, il s'agit de nous rappeler que *le temps* est un concept élaboré scientifiquement comme les autres concepts, et dès le début, ou presque, comme un *concept physique*. Il a été construit, et même déjà avec la physique newtonienne (bien que sous une modalité ambiguë, appelant à un « temps mathématique », conçu comme indépendant des objets), en vue de la représentation et de l'explication des *phénomènes physiques*. Le temps n'est pas une variable neutre, un paramètre abstrait pour représenter les phénomènes : il porte, dès son introduction, un contenu physique qui tient à la dynamique des événements du monde : ce contenu devait être explicité et précisé progressivement, à la faveur de l'évolution des connaissances sur les lois dynamiques. Si le temps, dans les *Principia* de Newton, n'est encore que la variable implicite d'une géométrie infinitésimale du mouvement, il se trouve, à

¹⁰ Michel Paty, « Sur l'histoire du problème du temps: le temps physique et les phénomènes », in Klein, Etienne et Spiro, Michel (éds.), *Le temps et sa flèche*, Editions Frontières, Gif-sur-Yvette, 1994, p. 21-58; 2^e éd., 1995 ; *ibid.*, Collection Champs, Flammarion, Paris, 1996, p. 21-58.; Michel Paty, « Réflexions sur le concept de temps », *Revista de Filosofia* (Madrid), 3a Epoca, Volumen XIV, 2001, n°25, 53-92.

partir du *Traité de dynamique* de d'Alembert, impliqué réciproquement dans la définition différentielle de la causalité physique, et c'est ainsi qu'il fut désormais conçu dans la physique tout entière. Au terme des élaborations et re-élaborations de ce concept, et surtout avec la théorie de la relativité, il apparaît que *le temps dépend des phénomènes* exactement de la même façon que les phénomènes dépendent du temps. On constate même, avec la théorie de la relativité générale, ou théorie relativiste de la gravitation, une réciprocité entre, d'une part le temps (emboîté dans l'espace-temps), et d'autre part le champ de gravitation lui-même (avec les phénomènes correspondants), qui entre dans sa structure (celle de l'espace-temps).

Dans ces élaborations, le temps a toujours été affecté d'une direction (du passé vers le futur), qui correspond aux définitions qui en sont données, liées à des considérations portant sur l'expérience humaine, à travers notamment Aristote, Plotin, Saint Augustin, jusqu'à Galilée et Newton ; et, après Newton, de la mécanique et de la physique classiques jusqu'à la relativité et à la cosmologie contemporaine. Cette directionalité (ou anisotropie) du temps était seulement de définition au début de la physique classique, et il ne pouvait qu'en être ainsi, si l'on pense au rôle de l'idée de simultanéité absolue et du concept d'action instantanée à distance introduits par Newton, maintenus par la mécanique et par la physique classiques. Le sens des mouvements planétaires tels que les considérait Newton n'était pas donné dans la loi dynamique ni dans celle de la gravitation, mais devait être ajouté à celle-ci pour rendre compte des mouvements effectifs des corps qui constituent le système solaire. La causalité physique, exprimée par la mise en équations différentielles, ne portait que sur des actions locales, d'ailleurs conçues comme réversibles : le sens du temps (local et global) devait être imposé du dehors, par la considération des conditions initiales.

La direction du temps parut ensuite relever d'un choix plus naturel, guidé par les phénomènes où la propagation de proche en proche à vitesse finie la rend manifeste : la propagation des ondes comme la lumière (avec la théorie de Fresnel), et l'introduction du champ, électrique et magnétique, par Faraday, affermissaient le caractère physique de la directionalité temporelle, par la mise en évidence de son lien à la causalité locale. La durée finie de propagation des actions était prise en compte, ce qui était plus conforme à une causalité progressive pour une dynamique de grandeurs continues, exprimée par les équations différentielles. L'électrodynamique de Maxwell donna à la directionalité du temps une formalisation plus forte encore avec l'élimination des potentiels avancés. Ceux-ci, qui auraient été des solutions possibles des équations, ne correspondaient pas aux phénomènes : leur suppression revenait au choix d'une seule direction pour le temps. Mais elle pouvait aussi bien paraître arbitraire du point de vue d'une compréhension rationnelle, puisque déterminée par une constatation seulement empirique : l'absence d'observation d'ondes avancées. La théorie de la relativité restreinte rendit ensuite compte directement de cette absence, que le formalisme de l'espace-temps quadridimensionnel permettait d'exprimer en termes de causalité relativiste et de « cône de lumière » dont l'axe est orienté du passé vers le futur.

Dans la théorie de la relativité restreinte, le « cône de lumière » est défini comme la région spatio-temporelle des actions causales. La forme de la métrique

de l'espace-temps de Minkowski définit cette région en explicitant la distinction de nature (physique) entre les dimensions spatiales et la dimension temporelle, formulées de façon homogène comme des coordonnées d'espace à quatre dimension. La distinction du temps par rapport aux coordonnées d'espace est exprimée par la signature différente du terme de la dimension temporelle dans l'invariant métrique ds^2 (la quatrième coordonnée s'écrit, après Poincaré et Minkowski, comme $x_4 = ict$, avec $i = \sqrt{-1}$, c étant la vitesse de la lumière dans le vide et la constante de structure de l'espace-temps ; $ds^2 = dx^2 - c^2 dt^2$). La possibilité d'une relation de causalité entre deux points-événements d'espace-temps est garantie à l'intérieur (et à la surface) du « cône de lumière » d'équation $ds^2 = 0$, donc pour la région $ds^2 \leq 0$, la région extérieure ($ds^2 \geq 0$) étant non physique. Le sens du temps est imposé en plaçant la cause avant l'effet, et la direction ainsi fixée dans un seul sens de la quatrième dimension d'espace-temps, la fait encore différer des trois autres, les dimensions d'espace, qui sont sans orientation : ce sens, qui est pré-défini, est celui de l'axe du cône de lumière, orienté du passé vers le futur.

Ainsi formalisée, sans que cela signifie pour autant qu'elle soit devenue déductible théoriquement, la *directionnalité du temps* est conçue comme correspondant à un caractère des phénomènes physiques, du moins ceux constatés à notre échelle, macroscopique : leur cohérence à cet égard est rendue par cette unique proposition et propriété du temps, son *unidirectionnalité*, étendue à l'ensemble des phénomènes physiques, y compris élémentaires et non-macroscopiques : car, sans l'unidirectionnalité du temps pour les événements élémentaires, elle serait impossible à retrouver au niveau macroscopique, et l'on est donc conduit à la postuler comme universelle.

On pourra objecter à cette présentation que la direction du temps, au travers de ces transformations d'une théorie à l'autre au long du temps historique, n'a pas fondamentalement changé de statut par rapport au choix du sens des planètes dans l'astronomie newtonienne, puisqu'elle n'est pas déduite théoriquement et reste, au fond, ajoutée de l'extérieur de la théorie. Cependant, la directionnalité du temps, tout en étant imposée à la théorie, n'est désormais plus autant extra-théorique qu'avant, puisqu'elle s'intègre de plus en plus à la théorie dans sa forme, lui devenant en quelque sorte inhérente, par la cohérence et l'économie de la formulation ainsi obtenue. Cette adjonction se situe désormais à un degré d'intégration dans la formulation théorique de plus en plus élevé, en passant de la mécanique newtonienne à la théorie électromagnétique, et à la théorie de la relativité restreinte.

L'unidirectionnalité du temps, même si elle nous est donnée à l'origine empiriquement, apparaît ainsi tout autant rationnelle (parce qu'unificatrice de phénomènes) que l'énoncé d'autres propriétés ou principes physiques universels, comme le principe de relativité, ou la conservation de l'énergie, qui gouvernent l'ensemble des phénomènes physiques. On conçoit difficilement la physique sans elle, de telle sorte que toute proposition qui la dénierait serait généralement considérée comme étant de caractère non physique.

Quant à la thermodynamique, elle a incorporé, avec son second principe, la directionnalité du temps, et elle s'est même proposée de fonder cette directionnalité ou *flèche du temps*, qui avait été introduite indépendamment d'elle

et bien avant elle. Plus récemment, la cosmologie du XX^e siècle a introduit un temps cosmologique universel, relié à l'évolution physique de l'Univers, y compris jusqu'aux premiers stades de celui-ci, dont traite la cosmologie quantique primordiale. Il est utile de préciser ici que la *réversibilité* d'événements continue de supposer *le cours unidirectionnel du temps*, et qu'il faut faire une distinction entre le cours orienté du temps qui vaut en principe pour tous les phénomènes¹¹, et l'irréversibilité (thermodynamique), qui est de nature statistique, et vaut au niveau macroscopique, ou du moins pour de grands ensembles de systèmes. Si l'on considère des changements d'états au long du cours du temps, les changements dits « réversibles » (qui sont en général de règle) sont tels (par définition) que la séquence dynamique qui fait passer de A à B a la même loi que la séquence qui fait passer de B à A. Cependant, les espaces de phases initial et final ne sont généralement pas les mêmes, et c'est cela, en fait, qui détermine l'irréversibilité pour des ensembles d'états au niveau macroscopique.

La théorie de la relativité générale modifie les considérations acquises avec la relativité restreinte seulement en ceci que le temps (avec l'espace auquel il est lié dans la métrique variable en tout point de l'espace-temps, par le tenseur métrique $g^{\mu}_{\nu}(x)$), est lié à la matérialité des champs de gravitation, qui ont pour source les masses (en fait, les masses-énergies).

Enfin la cosmologie, si nous revenons aux conditions de la cosmologie primordiale, indique qu'il y a un lien physique entre le temps et la nature du champ d'interaction dont le régime est dominant dans le domaine temporel ou énergétique considéré. Le temps y est en effet procuré à la fois par la Relativité Générale (par l'équation donnant $R(t)$), et par la Thermodynamique de l'Univers considéré comme un corps noir (par la relation entre l'énergie totale et le rayon (ou le volume) de l'Univers en fonction du temps¹². Selon la théorie ou « modèle » standard généralisé, qui joint la théorie du « Big bang » pour l'Univers et celle des champs de jauge pour la matière subatomique, toutes deux requises dans cette région de leur jonction, qui est celle des très hautes densités (asymptotiques) d'énergie, les symétries fondamentales liées aux formes de champs se brisent en descendant le cours du temps, en découplant les champs (totalement unifié, gravitation comprise ; de grande unification ; électrofaible ; puis les quatre champs séparés, avec la dominance du champ gravitationnel engendrant ensuite la structure de l'espace-temps continu de l'Univers). Ainsi est-ce la forme du champ dominant dans chacune de ces phases temporelles primordiales qui y détermine la structuration de l'Univers : il est donc approprié de considérer que le temps et le champ s'y déterminent mutuellement.

4. LE PROBLEME DU TEMPS COSMOLOGIQUE SELON GÖDEL. REMARQUES SUR SES CONSIDERATIONS PHILOSOPHIQUES.

¹¹ Sauf certains phénomènes subatomiques, au niveau quantique, qui violent l'invariance par renversement du temps (l'opérateur T en théorie quantique des champs).

¹² Voir : Michel Paty, *La physique du XX^e siècle*, EDP-Sciences, Paris, 2003, chapitre 11, p. 215-223.

L'idée d'un cours unique et universel du temps est parfois remise en cause à partir de certains problèmes ouverts posés par des théories physiques contemporaines (de Kurt Gödel à Steven Hawking). Nous voudrions maintenant nous interroger sur la signification physique du temps comme grandeur dans les situations limites invoquées par de telles spéculations, qui concernent aussi bien la cosmologie relativiste que la physique quantique des champs unifiés et la cosmologie quantique de l'Univers primordial. Nous nous en tiendrons toutefois ici à la première, la cosmologie relativiste.

Les réflexions de Gödel que nous allons évoquer portent sur le temps cosmologique dans sa formulation selon la théorie de la relativité générale, et mettent fondamentalement en question le caractère objectif du temps physique, à propos d'un comportement tératologique du temps dans un certain type de modèles d'Univers. Après avoir résumé l'enjeu de cette question, et évoqué le modèle d'Univers considéré par Gödel avec ses lignes de temps paradoxales, je rappellerai les réflexions à ce sujet d'Einstein puis de Jacques Merleau-Ponty, tout en essayant d'éclairer à mon tour la discussion sur ce que l'on peut en dire, en m'aidant des remarques historico-épistémologiques précédentes sur le temps physique en général.

Les considérations de Gödel sur les modèles cosmologiques à comportement paradoxal du temps ont d'abord été présentées par leur auteur dans un article publié dans le volume offert en hommage à Einstein pour ses 70 ans, *Einstein philosopher scientist*, édité par Paul Arthur Schilpp et paru en 1949¹³. Un travail plus détaillé et technique fut publiée quelque temps après dans le périodique de synthèse *Review of Modern Physics*, où l'auteur élargit son modèle initial en considérant des familles de modèles cosmologiques, soit de même type (univers homogène, statique et à constante cosmologique négative), soit de type semblable mais étendu à des situations non statiques (compatibles avec le décalage vers le rouge observé dans notre Univers en expansion)¹⁴.

Kurt Gödel, mathématicien et logicien hors pair, était mené dans son argumentation par une intention explicitement philosophique, comme on le voit au titre même de son premier article sur le sujet, « Remarque sur les rapports entre la théorie de la relativité et la philosophie idéaliste »¹⁵. Il commence par noter que la théorie de la relativité « a offert des aperçus neufs et très curieux sur la nature du temps »¹⁶, ce concept de temps dans lequel il voit « le fondement de l'existence du monde aussi bien que de la nôtre »¹⁷. Gödel précise qu'il identifie l'objectivité et la réalité du monde avec (ou qu'il la base sur) le fait que le « temps objectif » s'écoule soit simultanément, soit successivement. Selon ses propres

¹³ Kurt Gödel, « A remark about the relationship between relativity theory and idealistic philosophy », in Paul Arthur Schilpp (ed.), *Einstein philosopher scientist*, The Library of Living Philosophers, Evanston (Ill.), 1949, p. 557-562.

¹⁴ Kurt Gödel, « An example of a new kind of cosmological solutions of Einstein's field equations of gravitation », *Review of Modern Physics*, 21, 1949, 447-450. Voir également K. Gödel, « Rotating universes in general relativity theory », in *Proceedings of the International Congress of Mathematicians*, 1950, 1, p. 175-185.

¹⁵ Kurt Gödel, « A remark about the relationship between relativity theory and idealistic philosophy », *op. cit.*

¹⁶ « gave new and surprising insights into the nature of time » (p. 557).

¹⁷ « the basis of the world's and our own's existence » (p. 557).

termes : « L'existence d'une durée objective (...) signifie (ou du moins est équivalente à cela) que la réalité est faite d'une infinité de couches de "maintenant" qui viennent successivement à l'existence »¹⁸. Or, explique Gödel, la théorie de la relativité restreinte établit « comme son point de départ même » « la relativité de la simultanéité, qui implique dans une grande mesure celle de la succession »¹⁹. Il précise aussitôt ce qu'il veut dire par là : l'assertion que deux événements A et B sont simultanés (et également, pour une grande classe d'événements, l'assertion que A s'est produit avant B) perd sa signification objective, dans la mesure où un autre *observateur* peut affirmer, avec la même prétention d'exactitude, que A et B ne sont pas simultanés (ou que B s'est produit avant A) »²⁰. Le temps devient ainsi, pour Gödel, un « être contradictoire en apparence »²¹. La conclusion qu'il infère de cette « constatation » est, selon lui, très voisine d'une conception philosophique idéaliste, à savoir celle « de ces philosophes qui, comme Parménide, Kant, et les idéalistes plus récents, nient l'objectivité du changement et considèrent ce dernier comme une illusion ou une apparence due à notre mode particulier de perception »²².

Pour Gödel, la relativité (il s'agit ici de la relativité restreinte) détruit l'objectivité du temps, puisque la réalité ne peut plus être pensée comme faite d'une succession de couches superposées de « maintenant » (« now »), dont chacune serait donnée à un instant défini. « Chaque observateur », écrit-il, a son propre système de "maintenants", et aucun de ces systèmes de couches ne peut s'arroger la prérogative de représenter le cours objectif de l'écoulement du temps »²³. Gödel sait toutefois que son argument est susceptible d'être critiqué et qu'on lui objectera « la complète équivalence de tous les observateurs en mouvement avec des vitesses différentes (mais uniformes) »²⁴. Mais il considère cette équivalence comme vraie seulement « dans le schéma spatio-temporel abstrait de la théorie de la relativité restreinte et dans certains univers vides de la théorie de la relativité générale »²⁵. Le choix des mots « abstrait » et « espace vide » indique que l'équivalence effective des observateurs concerne des

¹⁸ « The existence of an objective lapse of time (...) means (or at least is equivalent to the fact) that reality consists of an infinity of layers of "now" which come into existence successively » (p. 558).

¹⁹ « The very starting point of special relativity theory consists in the discovery of the relativity of simultaneity, which to a large extent implies that of succession » (p. 557).

²⁰ « The assertion that the events A and B are simultaneous (and for a large class of events, also the assertion that A happened before B) loses its objective meaning, insofar as another *observer*, with the same claim to correctness, can assert that A and B are not simultaneous (or that B happened before A). » (p. 557). C'est moi (MP), qui souligne le mot « *observateur* » : voir le commentaire un peu plus bas.

²¹ A « seemingly self-contradictory being » (p. 557).

²² « of those philosophers who, like Parmenides, Kant, and the more modern idealists, deny the objectivity of change and consider change as an illusion or an appearance due to our special mode of perception ».

²³ « Each observer has his own set of 'nows', and none of these various systems of layers can claim the prerogative of representing the objective lapse of time » (p. 558).

²⁴ « the complete equivalence of all observers moving with different (but uniform) velocities » (p. 559).

²⁵ « in the *abstract* space-time scheme of special relativity theory and in certain *empty worlds* of general relativity theory » (p. 559). C'est moi (MP) qui souligne.

situations non physiques. Il semble ici que Gödel considère que la relativité restreinte n'est pas une théorie physique au sens propre, et il pourrait se targuer de ce qu'Einstein lui-même faisait remarquer qu'elle ne constituait qu'un cadre conceptuel, celui d'un espace-temps indépendant des corps qu'il contient. Et il est vrai qu'on ne fait pas de la physique avec une cinématique seulement : il y faut de la dynamique, comme celle qu'apporte la considération des corps, par exemple des masses par la relativité générale. Il semble que l'on revienne là sur la question de la cinématique et la dynamique en rapport à la théorie de la relativité restreinte²⁶. Il reste que si la relativité restreinte n'est pas une théorie dynamique, mais une théorie fixant une cinématique (c'est-à-dire concernant l'espace et le temps) ayant des implications sur les dynamiques (par exemple sur la forme des équations de Maxwell), elle n'en est pas moins une théorie de l'espace et du temps *physiques*, puisque, précisément, elle reconstruit l'espace et le temps pour les rendre conforme à des situations physiques (voir la manière dont Einstein l'élabora dans ce but)²⁷. Il semble bien que Gödel méconnaisse ce point, qui peut sembler mineur car la part importante de son argumentation est consacrée, dans la suite du texte, à ce qu'il considère être une situation physique possible, avec de la matière et un espace-temps courbe (celui de la relativité générale), en prenant le cas de la cosmologie.

Avant de l'aborder, arrêtons-nous quelques instants encore sur ce préliminaire. Une première remarque vient à l'esprit à propos de l'attribution à Kant par Gödel d'une conception qui dénierait l'objectivité du changement, en mettant en avant la perception. En vérité, tel n'est pas le cas : Kant ne nie pas la réalité objective, y compris celle qui se présente comme « changement » dans le temps, mais indique comment nous l'appréhendons selon notre équipement perceptif ; le temps tel que nous pouvons le concevoir est tributaire de ces conditions. Par ailleurs, Kant a développé une analyse de la causalité, dans la « Seconde analogie de la perception », dans l'« Analytique transcendantale » de la *Critique de la Raison Pure*. Il y indique que la relation causale implique, avant toute perception, qu'il y ait un « *ordre du temps* » reliant les grandeurs concernées (comme condition de l'entendement), et que la connaissance du « *cours du temps* » (tel qu'il se manifeste dans la perception) en dépend. Kant considère également une « simultanéité de la cause et de son effet dans le moment même où la cause est en train d'agir », ce qui paraît bien lui être inspiré par les travaux des « géomètres du XVIII^e siècle comme Euler et d'Alembert, dans leurs travaux sur la dynamique où ils expriment le changement de mouvement instantané et graduel (selon la « force accélératrice ») qui s'effectue sur le fond du mouvement

²⁶ Voir : Michel Paty, « The scientific reception of relativity in France », in Glick, Thomas (ed.), *The Comparative reception of relativity*, Coll. « Boston Studies in the Philosophy and History of Sciences », Reidel, Dordrecht, 1987, p. 113-167 ; M. Paty, *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993 ; M. Paty, « Poincaré et le principe de relativité », in Greffe, Jean-Louis; Heinzmann, Gerhard et Lorenz, Kuno (éds.), *Henri Poincaré. Science et philosophie. Science and philosophy. Wissenschaft und Philosophie. Congrès international, Nancy, France, 14-18 mai 1994*, Akademie Verlag, Berlin/Albert Blanchard, Paris, 1996, p. 101-143.

²⁷ M. Paty, *Einstein philosophe*, op. cit., chap. 2 et 3.

d'inertie, dont il se différencie et s'écarte²⁸. Pour Kant, qui connaissait et admettait parfaitement les conceptions sur la dynamique et la mécanique formée dans la lignée de Galilée, Descartes, Newton, Leibniz et Hermann, ce changement de mouvement n'est pas un changement de l'entité qui le subit considérée dans son être : ce n'est pas un changement de son être, mais de son état²⁹. Ce que Kant propose, c'est qu'un changement d'état dans le temps nécessite, pour être pensé ou exprimé, une permanence (dans le temps) de la substance, ou substratum, ou être, qui sous-tend le changement d'état. En somme, la philosophie de Kant n'est, en fait, pas concernée par ce que Gödel appelle « philosophie idéaliste », et qui se rapporte bien davantage au travail plus récent, d'ailleurs cité par lui, de J.M.E. MacTaggart, intitulé « The unreality of time », paru en 1908 dans la revue *Mind*³⁰.

On peut faire une deuxième remarque, suscitée par l'évocation qui vient d'être faite de la conception kantienne de la causalité instantanée, inspirée de la causalité différentielle de la mécanique classique. Cette évocation de la causalité pour la physique classique nous rappelle que, avec l'interconnexion spatio-temporelle ultérieure de la relativité restreinte, la réalité objective des événements n'est aucunement détruite, car la relativité de la simultanéité ne doit pas être confondue avec une « relativité de la causalité », qui n'existe pas. En effet, dans l'espace-temps de Minkowski, les relations de causalité sont absolues : seul le rapport entre des événements entretenant une relation causale peut être considérés comme ayant une signification objective : par exemple, la rencontre de deux lignes d'Univers en un point donné d'espace-temps, ou une cause de changement se produisant sur une ligne d'Univers donnée. Ces lignes d'Univers gardent la dépendance causale puisqu'elles se tiennent à l'intérieur du cône de lumière. Ce qui est causalement *avant* dans un référentiel donné restera causalement *avant* dans n'importe quel autre référentiel d'inertie. Il est curieux que Gödel ne fasse pas de différence entre, d'une part ce qui n'est que simple perception de signaux par des « observateurs », et d'autre part des « événements » objectivement qualifiés dans le sens qu'on vient de dire. On se prend à penser que l'insistance mise sur la notion d'*observateur* (très prégnante à l'époque, notamment en rapport aux présupposés épistémologiques alors en vigueur sur l'interprétation de la mécanique quantique, prenant appui sur une vue operationaliste de la théorie de la relativité) lui aura fait sous-estimer la notion d'*événement objectif* (causal) au profit de celle d'*observations ordonnées* (dépendant d'un point de vue relatif, sinon subjectif). Son argumentation initiale en paraît affaiblie d'autant du point de vue philosophique.

Cette double remarque restrictive sur la première réflexion philosophique de Gödel n'affecte pas l'intérêt de sa seconde réflexion, sur la cosmologie : celle-ci apparaît, en fait, porter sur une curiosité physico-

²⁸ M. Paty, « Genèse de la causalité physique », *Revue Philosophique de Louvain* (Louvain, Be), 102, n°3, août 2004, 417-446 ; « L'élément différentiel de temps et la causalité physique dans la dynamique de Alembert », in Morelon, Régis & Hasnawi, Ahmad (éds.), *De Zénon d'Elée à Poincaré. Recueil d'études en hommage à Roshdi Rashed*, Editions Peeters, Louvain (Be), 2004, p. 391-426.

²⁹ Sur le mouvement comme état, et le changement de mouvement comme changement d'état, voir Alexandre Koyré, *Newtonian Studies*, Cambridge (Ma), 1965 ; *Etudes newtoniennes*, Gallimard, Paris, 1968.

³⁰ J.M.E. MacTaggart, « The unreality of time », *Mind*, 17, 1908.

mathématique bien plus que sur une implication philosophique, comme Einstein en fit d'ailleurs la remarque dans sa réponse, relevant, avec sa perspicacité habituelle, que « le problème est totalement étranger au rapport de la théorie de la relativité à la philosophie idéaliste aussi bien qu'à toute formulation philosophique de la question »³¹.

5. MODELE D'UNIVERS ET TEMPS TERATOLOGIQUE DE GÖDEL.

Venons-en maintenant au cœur de l'argument de Gödel sur la théorie de la relativité générale et la cosmologie. Il énonce tout d'abord que « l'existence de la matière (...), comme de toute courbure particulière de l'espace-temps produite par elle, détruit pour une très grande part l'équivalence des différents observateurs et établit une distinction très marquée entre certains d'entre eux et le reste, à savoir ceux qui suivent dans leur mouvement le mouvement moyen de la matière »³². En particulier, les solutions des équations gravitationnelles pour les modèles cosmologiques sont telles que « les temps locaux de tous les observateurs s'ajustent en un temps d'univers ». Ce temps serait celui que l'on appelle couramment *temps cosmologique*³³. Ce temps pourrait-il être considéré comme vrai, s'écoulant objectivement ? C'est ce que certains pensent, mais Gödel n'en est pas d'accord³⁴. Au mieux, il ne pourrait être objectif, de toute façon, dans le sens indiqué, que de manière approximative, et cela serait déjà un défaut. Mais en fait, il ne peut l'être, poursuit Gödel, en raison de l'existence de solutions cosmologiques possibles qui ne permettent pas de formuler un temps physique ayant un écoulement objectif. De cette non-définition de la direction de son cours reconnue dans de tels cas, s'ensuit le caractère non physique du temps.

Gödel prend comme exemples de telles solutions cosmologiques spéciales celles d'un univers en rotation (par rapport à toutes ses masses, ou galaxies), spatialement homogène, statique et à constante cosmologique négative³⁵. Un univers de cette sorte présente des solutions « tératologiques » (le qualificatif est de moi, non de Gödel), telles que l'on peut voyager aussi bien dans le passé que dans le présent et dans le futur, puisque l'on y traverse l'espace tout entier pour revenir au point de départ. Pour être plus précis : à côté de lignes d'univers ouvertes, allant du passé vers le futur, on trouve aussi, parmi les

³¹ «The problem is entirely aside from the relation of the theory of relativity to idealist philosophy or to any philosophical formulation of the question » (A. Einstein, « Reply to Criticism », in Schilpp, *op. cit.*). Voir le texte original en allemand, dans P.A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1955.

³² « The existence of matter (...) as well as the particular kind of curvature of space-time produced by it, largely destroy the equivalence of different observers and distinguish some of them conspicuously from the rest, namely those which follow in their motion the mean motion of matter » (p. 559).

³³ « The local times of all these observers fit together into one world time » (p. 559).

³⁴ James Jeans, cité par Gödel, considérait pour sa part, à propos du temps cosmologique, qu'« il n'y a pas de raison d'abandonner l'idée intuitive d'un temps absolu s'écoulant objectivement ». Cf. James Jeans, *Man and the Universe*, 1935, p. 22-23.

³⁵ K. Gödel, « An example of a new kind of cosmological solutions of Einstein's field equations of gravitation », *op. cit.*

solutions, des lignes fermées sur elles-mêmes. Sur de telles lignes d'univers, un mobile pourrait, sans changer sa direction du passé vers le futur, revenir au voisinage du lieu (du point) d'espace-temps dans lequel il s'est déjà trouvé dans le passé. (Gödel décrit la situation, bien connue de la littérature de science-fiction, de quelqu'un qui se rencontre lui-même à un moment antérieur de sa vie, avec les paradoxes inhérents à une telle occurrence). Les conditions pratiques de réalisation d'un voyage de ce genre échappent évidemment aux possibilités habituelles, ce qui exclut qu'il puisse être concrétisé (distances cosmologiques immenses à parcourir, vitesses exceptionnellement élevées, quantité de carburant requise, etc.). Mais une impossibilité pratique ne vaut pas impossibilité de droit. Pour Gödel, on ne peut exclure que notre Univers, ou un univers réel possible, soit configuré ainsi, puisqu'il n'a pas été possible de mettre à l'épreuve jusqu'ici des éventualités de ce genre. Bien que nous ne puissions en faire l'expérience, il se pourrait bien qu'il en soit ainsi dans la réalité. Pour de tels mondes, la notion d'« écoulement objectif du temps »³⁶ perd, selon Gödel, toute signification.

Il faut remarquer toutefois que Gödel emploie ici une sorte de rhétorique qui n'est pas sans défaut. Son argumentation est la suivante : même si nous nous trouvons dans un univers où le temps cosmologique peut être considéré comme s'écoulant objectivement, la simple possibilité que d'autres univers réalistes puissent exister, dans lesquels il n'y ait pas d'écoulement objectif du temps, nous permet de douter de l'objectivité du nôtre. Car tous les modèles d'univers considérés sont compatibles avec la condition d'univers physiques réels (avec une courbure d'espace-temps, décalage vers le rouge c'est-à-dire expansion, dans ses modèles ultérieurs, etc.), et les différences entre eux résident donc simplement dans les différents arrangements de la matière. On devrait donc admettre, selon Gödel, que « l'existence ou non d'un écoulement objectif du temps (c'est-à-dire qu'un temps au sens ordinaire du mot existe ou non), dépend de la manière particulière dont la matière et son mouvement sont agencés dans le monde »³⁷. Tout en reconnaissant qu'il n'y a pas là de contradiction, Gödel estime en conclusion qu'une « perspective philosophique qui aboutit à de telles conséquences peut difficilement être considérée comme satisfaisante »³⁸.

6. REMARQUES CRITIQUES SUR LE PARADOXE DE GÖDEL.

Venons-en maintenant à la réaction d'Einstein à ces considérations de Gödel sur le temps. Einstein répondit, comme aux autres auteurs du volume d'hommage, dans sa « Réponse aux critiques » publiées à la fin de l'ouvrage édité par Schilpp. A ses yeux, l'essai de Gödel constitue, comme il l'écrit, « une importante contribution à la théorie générale de la relativité, et particulièrement à l'analyse du concept de temps ». Le problème « physico-mathématique » soulevé

³⁶ « objective lapse of time ».

³⁷ « whether or not an objective lapse of time exists (i.e. whether or not a time in the ordinary sense of the word exists), depends on the particular way in which matter and its motion are arranged in the world » (p. 562).

³⁸ « A philosophical view leading to such consequences can hardly be considered satisfactory » (p. 559).

par Gödel lui était déjà apparu, indique-il, lorsqu'il était en train d'élaborer la théorie de la relativité générale, sans qu'il aie pu parvenir alors à le clarifier. Ce n'est pas l'aspect « philosophique » du problème qui le retient, au contraire de Gödel, comme nous l'avons mentionné, mais l'éventualité de trouver, parmi les solutions possibles des équations de la théorie de la relativité générale appliquée à un modèle cosmologique pour une distribution plausible de la matière énergie, une ligne d'univers fermée sur elle-même.

Einstein s'interroge alors sur le sens de la direction choisie pour le temps dans une représentation d'espace-temps. On sait de quoi on parle, expose-t-il en substance, quand on considère la direction du temps localement, pour des points d'espace-temps voisins : cette direction est définie par le sens physique qui s'attache à l'« envoi d'un signal », qu'il considère comme « un processus irréversible », « dans le sens de la thermodynamique ». Einstein fonde ainsi la directionnalité du temps, avec un sens physique, sur la thermodynamique, c'est-à-dire sur une propriété macroscopique, tout en indiquant que « d'après nos connaissances présentes, tous les processus élémentaires sont réversibles ». Je rappelle ici la distinction faite plus haut entre le *cours du temps* et l'*irréversibilité*, tout en considérant que notre choix du sens du temps est informé de notre expérience, qui est celle de l'irréversibilité des phénomènes. Par rapport à cet état de choses, Einstein paraît considérer que les processus élémentaires, étant réversibles, ne permettent pas à eux seuls de fixer l'orientation du temps, qui est décidée, de fait, par le niveau macroscopique. Mais elle vaut dès lors dans tous les cas (comme résultant de l'imposition d'une condition aux limites par les phénomènes). Autrement dit, nous choisissons l'orientation du temps du passé vers le futur par convention pour les processus élémentaires, qui ne suffiraient à la donner par eux seuls³⁹ ; cette convention tient compte de la nécessité d'être consistant avec l'expérience du monde, elle-même basée sur l'évidence de l'irréversibilité au niveau macroscopique

Après cette considération sur le temps local, Einstein se demande, à la suite de Gödel, si ce sens physique est encore valable dans le cas de points éloignés à des distances arbitraires. Pour une ligne d'univers de type temps, avec des points qui sont en connexion causale continue, si cette courbe est fermée, le sens physique serait perdu, ce qui est le paradoxe exposé par Gödel. Einstein rappelle alors que Gödel a effectivement obtenu de telles solutions d'équations de la relativité générale (en prenant une constante cosmologique non nulle, pour un univers statique⁴⁰). Il considère alors que le problème reste ouvert, comme un paradoxe qui doit trouver sa réponse, en exprimant l'espoir que de telles solutions soient exclues sur une base physique.

Le commentaire que je pourrais faire, pour ma part, sur le paradoxe de Gödel, s'inscrit dans la direction indiquée par Einstein. Pour Gödel, en somme, le

³⁹ A cette réserve près, que ne pouvait connaître Einstein, que des processus élémentaires au niveau quantique subatomique, par la dissymétrie de l'opération T (renversement du temps), pourraient peut-être assurer le sens du temps : mais il faut alors convoquer le niveau cosmologique où se marquent de tels effets, parmi lesquelles la dissymétrie entre particules et antiparticules. Or le niveau cosmologique implique aussi les considérations de la Thermodynamique.

⁴⁰ En fait, comme nous l'avons indiqué en commençant, Gödel considéra ensuite des modèles d'univers non statiques (K. Gödel, « An example of a new kind of cosmological solutions of Einstein's field equations of gravitation », *Review of Modern Physics*, *op cit.*).

temps mathématique monstrueux éclaire la nature du temps ordinaire. Tout univers compatible dans ses grandes structures avec un univers physique existant réellement, même s'il présente des caractères tératologiques (ou monstrueux) pour le temps, est un monde physique possible : il s'ensuit que le temps possède bien de tels traits tératologiques, et qu'il est par conséquent non physique. Gödel n'accepte pas de considérer que le comportement du temps puisse être directement connecté avec des agencements spécifiques de la matière, et qu'il soit possible pour certains cas et non pour d'autres. Pourtant, si l'on pense physiquement l'Univers, on doit admettre que tous les arrangements de la matière qui sont mathématiquement possibles ne sont pas nécessairement possibles physiquement. On peut penser, au contraire, que dans ce cas comme dans d'autres, la physique place des contraintes sur les représentations et les solutions obtenues mathématiquement, ces contraintes étant rapportées à des principes ou à des conditions physiques caractérisés. De telles contraintes, par rapport aux possibilités physiques, peuvent fort bien n'être pas déjà données, et requérir d'être formulées. Les modèles cosmologiques de Gödel sont des modèles mathématiques, dont tous les principes physiques pour un univers réel n'ont pas été nécessairement énoncés. Toute solution mathématique de tels modèles n'est pas *ipso facto* physique. Au contraire de la conclusion tirée par Gödel de la possibilité de solutions non physiques pour le temps, entraînant la nature non objective de ce dernier, on devrait, me semble-t-il, considérer que de telles solutions doivent être exclues comme non physiques au nom du « principe de l'unidirectionalité temporelle » évoqué plus haut ; restant ensuite à analyser de plus près ce qui, dans la forme interne de ces solutions, les oppose à ce principe.

Venons-en maintenant à l'analyse faite par Jacques Merleau-Ponty des modèles cosmologiques de Gödel dans sa *Cosmologie du XX^e siècle*. Après avoir exposé en détail le raisonnement de Gödel, et en soulignant l'importance pour de tels modèles d'avoir à tenir compte du décalage vers le rouge (« *red-shift* »), c'est-à-dire de la fuite des galaxies, ou encore de l'expansion de l'Univers⁴¹, il émet un doute sur la démonstration proposée par Gödel de ce que « la réalité du passage du temps n'est en rien certaine »⁴². Son interrogation porte sur l'extrapolation de la relation de cause-effet d'une constatation locale (vérifiable) à une distance indéfinie, en l'absence de critère effectif.

« En effet », écrit-il, « l'un des traits remarquables de [l']analyse [de Gödel] est de mettre parfaitement en évidence que dans son modèle d'Univers, la relation de précession-succession est localement définie sans équivoque en tout point ; ce faisant il concède beaucoup à une ontologie du devenir car la convention algébrique qui permet, une fois fixé le sens du temps en un point, d'étendre cette définition à tout point voisin, cette convention n'est applicable que si, physiquement, le plus ou le moins dans le cours du temps se distinguent par quelque critère expérimental, et si, en passant d'un point à l'autre, l'usage de la convention algébrique n'est pas contredite par le critère physique. C'est dire que le passage du temps doit au moins localement être reconnu comme « objectif ». Que cela soit ou non conforme à l'idée que Gödel se fait d'une philosophie

⁴¹ Que Gödel traite en fait dans son second article.

⁴² J. Merleau-Ponty, *Cosmologie du XX^e siècle*, op. cit., p. 276-280.

idéalisrte du temps est au demeurant d'importance secondaire ; car ce qui reste en tout état de cause plein de sens, c'est la disjonction entre le passage du temps comme phénomène local et différentiel, et la relation avant-après appliquée à distance spatio-temporelle finie. » J. Merleau-Ponty rejoint la remarque d'Einstein indiquant, « avec sa justesse de vues coutumière », « que la discussion de Gödel apportait une importante confirmation à la thèse que c'est la possibilité de transmettre un signal d'un point-événement à un autre qui fixe en définitive l'orientation de la relation temporelle entre eux. A très grande distance, le critère perd son sens. »⁴³

J. Merleau-Ponty remarque en outre que, si le modèle de Gödel, comme d'autres modèles cosmologiques, fixe la structure matérielle du continuum d'espace-temps conçue comme un « fluide cosmique parfait », mais que rien ne dit « que la matière parcourt naturellement ou spontanément les lignes fermées d'univers » : il s'établit, selon lui, en fait, une différence « entre les mouvements naturel du substratum cosmique et ces sortes de trajectoires artificielles que parcourent les particules animées de très grandes vitesses par rapport au repère local de repos. » Décelant une sorte de conflit de titans entre la tendance affirmée par Gödel pour les « lignes d'univers de la matière » de suivre « un cours naturel des choses que remontent ces immenses trajectoires forcées qui reviennent dans le passé » et le « destin inéluctable » de la pente de l'être qui pousse vers le devenir, il souligne non sans lyrisme comment « le modèle de Gödel conduit (...) au cœur de la philosophie du temps »⁴⁴.

7. REMARQUES DE CONCLUSION

Il y aurait encore bien d'autres traits intéressants à relever dans les remarques suscitées chez J. Merleau-Ponty par la tentative cosmologique de Gödel, notamment son jugement sur « l'absence d'une vraie signification ontologique du devenir » chez ce dernier, qui prive sans doute pour lui « les problèmes de genèse de leur intérêt » (il n'y a pas de cosmogonie dans les modèles de Gödel), ou l'esquisse de comparaison entre la tentative de cosmologie de Gödel et celle de Milne⁴⁵. Et surtout il faudrait revenir sur les précieuses pages dans lesquelles J. Merleau-Ponty reprend de manière systématique la notion de temps cosmique, revenant incidemment sur le problème de Gödel, et voyant la source du paradoxe dans un « *réalisme* de l'espace-temps » qui identifie les êtres géométriques quadri-dimensionnels et les êtres physiques⁴⁶. Mais nous ne pouvons que renvoyer à la lecture des riches analyses de la *Cosmologie du XX^e siècle*.

Je me contenterai d'indiquer ici la portée philosophique de ces questions, prises dans leur approche la plus précise, toujours présente dans les analyses qu'en donne Jacques Merleau-Ponty. Lorsqu'il s'interrogeait, par

⁴³ *Ibidem*.

⁴⁴ *Ibidem.*, p. 280.

⁴⁵ *Ibidem.*, p. 283.

⁴⁶ *Ibidem.*, p. 441-442, 447-451.

exemple, sur la question du temps cosmologique qui suscite des problèmes délicats d'interprétation, dont nous n'avons évoqué que l'un des aspects, il lui donnait toute sa dimension philosophique et même ontologique. Le temps de la science cosmologique fait partie de ces « catégories de la pensée physique » qui, selon lui, « relèvent, en même temps que de la science dans son sens strict (...), d'une philosophie naturelle précédant et achevant, enveloppant de tout côté le discours qui se veut ou se croit strictement scientifique »⁴⁷.

A côté des considérations épistémologiques, le temps cosmologique incite le philosophe à des réflexions plus proches de la métaphysique, comme celle-ci : ce temps physique de la cosmologie, qui est celui de la genèse et des maturations des objets et des événements du Cosmos, donne, selon Jacques Merleau-Ponty, à la présence de l'homme dans l'Univers un certain poids, par la durée des préliminaires à son apparition, qui rétablit sa « proportion » avec cet Univers et renforce un « sentiment de proximité » avec ce dernier que son insignifiance au regard de l'espace aurait perdu.

Cette préoccupation, étayée par une réflexion informée et rigoureuse sur la science en question, permet à l'analyse épistémologique de ne pas perdre de vue les implications les plus générales du concept de temps, y compris concernant la genèse du monde et la dimension de l'expérience humaine, qui se rejoignent dans une même épaisseur d'histoire et de vécu, qui assurent, par-delà la scientificité de la question du temps, une pertinence de la métaphysique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOHR, Niels [1991]. *Physique atomique et connaissance humaine*, trad. de l'anglais, nouvelle édition, avec une introduction de Catherine Chevalley, Gallimard, Paris, 1991.

EINSTEIN, Albert [1949]. « Reply to Criticism », in Schilpp, Paul Arthur (ed.), *Einstein philosopher scientist*, The Library of Living Philosophers, Evanston (Ill.), 1949.

D'ESPAGNAT, Bernard & PATY, Michel [1980]. *La Physique et le réel*, exposés et débat, *Bulletin de la Société Française de Philosophie*, 74^e année, n° 1, janv. mars 1980, 1-42.

GÖDEL, Kurt [1949a]. « A remark about the relationship between relativity theory and idealistic philosophy », in Paul Arthur Schilpp (ed.), *Einstein philosopher scientist*, The Library of Living Philosophers, Evanston (Ill.), 1949, p. 557-562.

GÖDEL, Kurt [1949b]. « An example of a new kind of cosmological solutions of Einstein's field equations of gravitation », *Review of Modern Physics*, 21, 1949, 447-450.

GÖDEL, Kurt [1950]. « Rotating universes in general relativity theory », in *Proceedings of the International Congress of Mathematicians*, 1950, 1, p. 175-185.

⁴⁷ Jacques Merleau-Ponty, *Cosmologie du XX^e siècle*, op. cit., p. 441.

IMPLICATIONS CONCEPTUELLES de la physique quantique, Colloque de la Fondation Hugot du Collège de France, juin 1980, Journal de Physique, Supplément, fasc. 3, Colloque n° 2, 1981.

JEANS, James [1935]. *Man and the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge (UK), 1935

KOYRE, Alexandre [1965]. *Newtonian Studies*, Cambridge (Ma), 1965 ; *Etudes newtoniennes*, Gallimard, Paris, 1968.

MACTAGGART, J.M.E. [1908]. « The unreality of time », *Mind*, 17, 1908.

MERLEAU-PONTY, Jacques [1965]. *Cosmologie du XX^e siècle*, Gallimard, Paris, 1964.

MERLEAU-PONTY, Jacques [1983]. *La science de l'Univers à l'âge du positivisme. Etude sur les origines de la cosmologie contemporaine*, Vrin, Paris, 1983,

MERLEAU-PONTY, Jacques [1987]. « Sur la distinction de M. B. D'Espagnat entre "objectivité forte" et "objectivité faible" », *Fundamenta Scientiæ* (Strasbourg, São Paulo), 8, n°3-4, 1987, 323-330.

MERLEAU-PONTY, Jacques [2003]. *Sur la science cosmologique. Conditions de possibilité et problèmes philosophiques*, édité par M. Paty et J.J. Szczeciniarz, Collection « Penser avec les sciences », EDP-Sciences, Paris-Les Ulis, 2003

PATY, Michel [1977]. *Théorie et pratique de la connaissance chez Jean d'Alembert*, Thèse de doctorat de philosophie, Université de Strasbourg-2, 1977.

PATY, Michel [1987]. « The scientific reception of relativity in France », in Glick, Thomas (ed.), *The Comparative reception of relativity*, Coll. « Boston Studies in the Philosophy and History of Sciences », Reidel, Dordrecht, 1987, p. 113-167.

PATY, Michel [1993]. *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993.

PATY, Michel [1994]. « Sur l'histoire du problème du temps: le temps physique et les phénomènes », in Klein, Etienne et Spiro, Michel (éds.), *Le temps et sa flèche*, Editions Frontières, Gif-sur-Yvette, 1994, p. 21-58; 2^e éd., 1995 ; *ibid.*, Collection Champs, Flammarion, Paris, 1996, p. 21-58.

PATY, Michel [1996]. « Poincaré et le principe de relativité », in Greffe, Jean-Louis; Heinzmann, Gerhard et Lorenz, Kuno (éds.), *Henri Poincaré. Science et philosophie. Science and philosophy. Wissenschaft und Philosophie. Congrès international, Nancy, France, 14-18 mai 1994*, Akademie Verlag, Berlin/Albert Blanchard, Paris, 1996, p. 101-143.

PATY, Michel [2001]. « Réflexions sur le concept de temps », *Revista de Filosofia* (Madrid), 3a Epoca, Volumen XIV, 2001, n°25, 53-92.

PATY, Michel [2003]. *La physique du XX^e siècle*, EDP-Sciences, Paris, 2003.

PATY, Michel [2004a]. « Le Cosmos avant Einstein. L'idée cosmologique avant la science cosmologique », *Ciel et Espace. Hors-Série*, septembre 2004, 29-35.

PATY, Michel [2004b]. « Genèse de la causalité physique », *Revue Philosophique de Louvain* (Louvain, Be), 102, n°3, août 2004, 417-446 .

PATY, Michel [2004c]. « L'élément différentiel de temps et la causalité physique dans la dynamique de Alembert », in Morelon, Régis & Hasnawi, Ahmad (éds.), *De Zénon d'Elée à Poincaré. Recueil d'études en hommage à Roshdi Rashed*, Editions Peeters, Louvain (Be), 2004, p. 391-426.

SCHILPP, Paul Arthur (ed.), *Einstein philosopher scientist*, The Library of Living Philosophers, Evanston (Ill.), 1949. Trad en allemand : Schilpp, Paul Arthur (ed.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1955.

NOTE BIO-BIBLIOGRAPHIQUE

MICHEL PATY, né en 1938, Directeur de recherche émérite au Centre National de la Recherche Scientifique, est actuellement (2005) Professeur invité au Département de Philosophie de l'Université de São Paulo (Brésil). Possédant une double formation, scientifique (en physique) et philosophique, avec un doctorat dans chacune des deux disciplines, il a travaillé pendant une vingtaine d'années dans la recherche en physique fondamentale (au Centre de recherches nucléaires et Université de Strasbourg), et s'est ensuite consacré à plein temps à la philosophie, à l'épistémologie et à l'histoire des sciences (en fondant avec des collègues l'équipe de recherche REHSEIS du CNRS à l'Université Paris 7 Denis Diderot). Ses travaux de recherche portent notamment sur les rapports de la philosophie et des sciences dans les périodes classique (18^e siècle) et contemporaine, sur la mathématisation de la physique, sur les questions d'interprétation de la physique quantique, et actuellement sur la philosophie de la création scientifique et de la rationalité. Parmi ses ouvrages publiés : *La matière dérobée*, Ed. Archives contemporaines, Paris, 1988 ; *L'analyse critique des sciences*, L'Harmattan, Paris, 1990 ; *Einstein philosophe*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993 ; *Einstein, ou la création scientifique du monde*, Belles Lettres, Paris, 1997 (2^e tirage, 2004) ; *D'Alembert, ou la raison physico-mathématique au siècle des Lumières*, Belles Lettres, Paris, 1997 (2^e tirage, 2004) ; *La physique du XX^e siècle*, EDP-Sciences, Paris, 2003.

MICHEL PATY, born in 1938, Director of Research Emeritus at the Centre National de la Recherche Scientifique, is presently (2005) Invited Professor at the Philosophy Department of São Paulo University (Brazil). Formed in Physics and in Philosophy, with doctorate in both disciplines, he has worked for some twenty years in fundamental Physics research (at the Centre de Recherches Nucléaires and University of Strasbourg), and thenafter has devoted full time to philosophy, epistemology and history of sciences (founding with colleagues the Rehseis groupe of research at CNRS and Paris 7-Denis Diderot University). His research works deal in particular with the relationship between philosophy and the sciences during the classical (18th century) and contemporary periods, with the mathematization of Physics, with the questions of interprétation of Quantum Physics, and presently with the problems of a philosophy of scientific creation and of rationality. Among his published books : *La matière dérobée*, Ed. Archives

contemporaines, Paris, 1988 ; *L'analyse critique des sciences*, L'Harmattan, Paris, 1990 ; *Einstein philosophe*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993 ; *Einstein, ou la création scientifique du monde*, Belles Lettres, Paris, 1997 (2nd printing, 2004) ; *D'Alembert, ou la raison physico-mathématique au siècle des Lumières*, Belles Lettres, Paris, 1997 (2nd printing, 2004) ; *La physique du XX^e siècle*, EDP-Sciences, Paris, 2003.